

環境保全、機器の長寿命化に貢献する水力発電技術

Hydroelectric Power Technologies Contributing to Environmental Preservation and Extension of Facility Life

中野 富二男

NAKANO Fujio

水力発電設備の環境保全として河川の汚染防止があり、その防止対策としての技術には、油圧サ - ボモータシステムの電動化(圧油レス化)と、軸受からの油霧流失防止のための刷子シールがある。また、機器の長寿命化という面での技術には、土砂による摩耗の低減対策としての表面改質技術と、軸受の摩耗が低減される新素材を適用した軸受がある。

これらの技術は、既に関機適用され成果を得ており、今後は更なる技術の向上と適用範囲の拡大に努めることによって、よりいっそう環境保全と機器の長寿命化に貢献できるようにしていく。

Environmental protection is required in hydroelectric generating facilities to prevent the contamination of rivers. Among the preventive measures for this purpose are the electrification of hydraulic servomotors and the adoption of brush seals to prevent oil mist leakage from bearings. Moreover, technologies to extend facility life include surface treatment technology to protect metal parts from silt in the river water, and the use of plastic materials for bearings to reduce wear.

These technologies have been applied to hydroelectric generating facilities, and their effectiveness has been confirmed. Toshiba is making efforts to widen their scope of application so as to further contribute to environmental preservation and extension of equipment life in the future.

1 まえがき

水力発電設備においても、簡素化、合理化、運転や保守の省力化に加え、環境保全のニーズはいっそう高まってきている。

このニーズに対して、東芝では従来から“レス化技術”である電動サーボモータ(圧油レス) 空冷式軸受(冷却水レス)、電磁ブレーキ(空気レス)、油霧対策としての刷子シール(オイルパーパレス)、ブラシレス励磁装置(ブラシレス)、また、土砂摩耗対策としての表面改質技術、超寿命化を目的とした新素材軸受やデジタル技術を駆使した制御システムなど、多種多様な技術を適用したシステムを提供してきた。

ここでは、環境保全と機器の長寿命化という面からの技術について述べる。

2 環境保全に貢献する技術

水力発電設備はガイドベーン、ランナベーンや入口弁のサーボモータ及び軸受に油が用いられており、その油が河川を汚染する可能性がある。汚染の可能性をなくすための技術は、サーボモータの電動化(圧油レス化)と、軸受からの油霧(オイルパーパ)を防止する刷子シールである。

2.1 電動サーボモータ

電動サーボモータは圧油が不要になるため環境保全に貢

献するとともに、設備の簡素化と保守の省力化ができるので、機器及び運転や保守コストが低減され、中小水力を中心に普及している。

当社は独自の技術により、フランシス水車、カプラン水車、ペルトン水車などあらゆる型式の水車に電動サーボモータの実用化を果たしており、更なる適用拡大のために大容量化に取り組んでいる。

その一例としては、ガイドベーン電動サーボモータの適用範囲の拡大に伴って、1台の電動サーボモータで駆動する従来の方式では容量的な限界があること、また、既設が二連式サーボモータの場合は、電動化そのものが困難であったが、その課題を克服するために2台の電動サーボモータで駆動させる二連式を新たに開発し、30 MW 水車に実用化した(図1)。

この二連式電動サーボモータは連動トルク制御を採用し、親側のトルク基準を子側に出力し、子側はそのトルク基準により運転するもので、親子それぞれのアンプで閉ループを構成し安定した制御を行っている。

この方式の確立により、100 MW 級の大容量水車への電動サーボ化適用も可能となった。

2.2 刷子シール

従来の軸受シール装置は、主軸とのすき間に多数の円周溝を設けたラビリンスシールと呼ばれる方式が一般的であ



図1．二連式電動サーボモータ - 30 MW 水車に実用化した二連式電動サーボモータの工場試験状況を示す。
Double-action type electric servomotor

ったが、主軸との間にわずかなすき間があるため、軸受油槽内の潤滑油が油霧(オイルペーパー)や油滴となったものが通過して機器を汚損し、場合によっては河川の汚染につながる可能性がある。

この油霧や油滴は、軸受油槽内外の圧力差及び軸の偏心や振れにより主軸とシールとのすき間が不均等に拡大することで発生するもので、これまで抜本的な対策が難しかった。

油汚れは、発電機のコイルや導体に付着すると水分や塵埃(じんあい)を吸着して絶縁低下を招いたり、通風路をふさいで温度上昇を招くなどの様々な悪影響を及ぼすことから、定期的な清掃が必要になり、メンテナンス上かなりの負担となるケースが多かった。

新たに開発した刷子シールは、ナイロン系耐摩耗樹脂の繊維を密に束ねて主軸の回りに円環状に取り付け、繊維がたわむように主軸に押しつけた構造のものであり、軸振れや軸の偏心が発生しても主軸との間にすき間を生じることがなく、油霧や油滴の漏れを常に防ぐことができる。

なお、耐摩耗性樹脂の選定において、長時間の可逆回転試験でも樹脂の摩耗がまったくないことを確認済みである。

この刷子シール装置はあらゆる直径軸に対応可能で、既設機にも立軸、横軸を問わず取り付けられるうえ、外部からの軸受内への粉塵の侵入を防止する効果も大きく、2000年から実機適用を開始し、その効果を確認済みである。

刷子シールの構造と実機への取付け状態を図2に示す。

3 機器の長寿命化に貢献する技術

機器の長寿命化に貢献する技術には、土砂による機器の摩耗を低減させる表面改質技術と、軸受の摩耗を低減し、かつ損失低減できる新素材を用いた軸受がある。

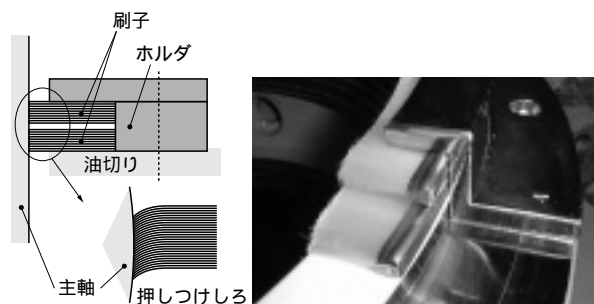


図2．刷子シールの構造と取付け状態 - 刷子シールの主軸への取付け構造(左)と実機へ取り付けられた状態(右)を示す。

Outline of brush type oil mist seal

3.1 表面改質技術

水力発電所の河川(あるいはダム)には常時又は洪水時に多量の土砂が流れ込み、ガイドベーン、ランナ、シートライナ、カバーライナなどの流水面の部材に土砂摩耗を発生させる。

従来、この土砂摩耗には効果的な対策がなく、土砂摩耗した部品の交換周期に合わせてオーバーホール工事を実施していた。

この土砂摩耗の対策として、当社は最新の溶射手法である超高速フレーム溶射(以下、HP-HVOF(High-Pressure, High-Velocity Oxygen-Fuel)溶射と呼ぶ)を用い、密着力が強く高硬度となるコーティング技術の開発を進め、優れた耐土砂摩耗特性を持つ当社独自開発の溶射粉末材料TCC(Toshiba Cermet Coating)を用いたコーティング方法を実現した。

このHP-HVOF溶射はガス式溶射であり、高压の内燃燃焼方式による溶射法で、燃料の灯油と酸素とを燃焼チャンバ内でプラグによって点火燃焼させ、高温で高压な高速ガス流に粉末などの溶射材料を供給し、半熔融状態の粒子が超高速状態で母材に溶射される(図3)。

溶射粉末材料TCCは、HP-HVOF溶射に適した材料であり、タングステンカーバイド(WC)を主体とした高硬度、高密

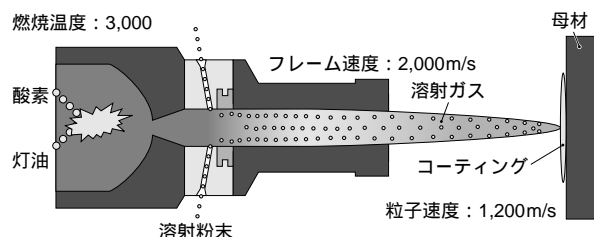


図3．溶射ガンの概要 - 半熔融状態の粒子が超高速で母材に溶射される。

Outline of high-pressure, high-velocity oxygen-fuel (HP-HVOF) coating gun

着性を持つ材料で、溶射によりできた皮膜は以下の特長がある。

- (1) 密着力が強い(通常,100 ~ 150 MPa)
- (2) 緻密(ちみつ)で気孔が少ない(0.5 %以下)
- (3) 厚膜形成が可能(0.5 ~ 2 mm)
- (4) 溶射材料の組成変形がほとんどない
- (5) 曲げ,ねじれ,たたかれに強い

フランスス水車ランナへの溶射状況を図4に、また、土砂摩耗による損傷の激しい立軸フランスス水車ランナへのHP-HVOF溶射とSUS309(ステンレス鋼)肉盛溶接の比較を図5に示す。

当社が開発したHP-HVOF溶射によるコーティングは水車部品材料(補修材料も含め)に対して、工場試験結果で4倍以上の耐摩耗特性を持っていること、また、実機に適用した結果(図5)から最大損傷深さとの差で比較すると、ランナ補修材料SUS309に対して25倍以上の耐摩耗特性を持っていることが実証されている。

土砂摩耗の程度は、河川の土砂含有量、流速、衝突角度

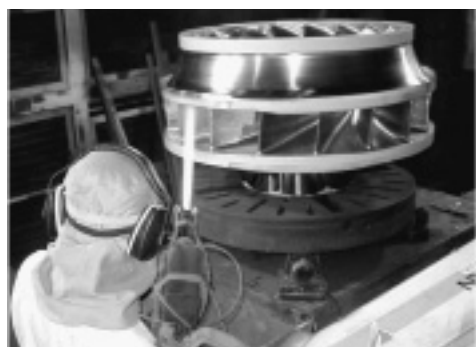
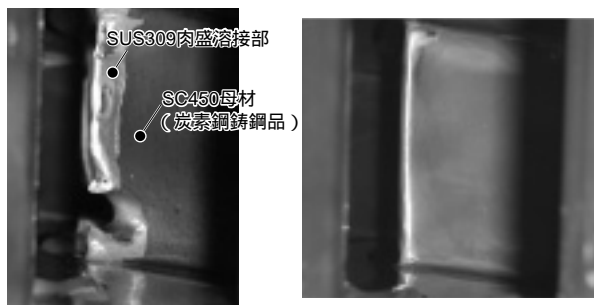


図4.ランナへの溶射状況 - フランスス水車ランナへの溶射を実施している状況を示す。

Application of HP-HVOF coating to Francis type runner



SUS309肉盛溶接

HP-HVOF溶射

図5. SUS309肉盛溶接(左)とHP-HVOF溶射(右)の土砂摩耗状況比較 - SUS309による肉盛溶接の場合は、肉盛溶接部を越えて母材まで損傷が進行している。

Comparison of SUS309 welding and HP-HVOF coating

などで発電所ごとに違いはあるがHP-HVOFによる溶射は、現在使用しているどの材料よりも優れた耐摩耗特性を得ることができる。

更に、現地での補修も可能であり、工場持込みの手間や埋設部品で現地補修しかできない部品においても採用できる。なお、このHP-HVOFは国内のみならず海外物件においても、ランナ、上・下カバー、ラビリンスシールなどに採用され、高い評価を得ている。

3.2 新素材軸受

3.2.1 新素材スラスト軸受 立軸水車発電機には、回転部重量と水スラスト荷重を支えるためのスラスト軸受が装備されており、静止板すべり面の材料には、従来はホワイトメタル(WJ2)を採用してきたが、当社はこれに代えて四フッ化エチレン樹脂(PTFE)系材料を適用した新素材スラスト軸受を開発した。

この新素材スラスト軸受は、図6に示すように、メンテナンスフリーや高性能化に寄与する多くの特長を備えており、実機への通用を拡大しつつある。

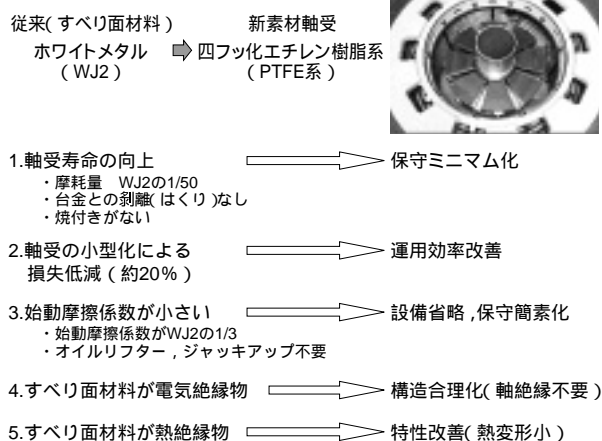


図6. 新素材スラスト軸受の特長 - 新素材軸受は従来のホワイトメタル(WJ2)軸受に比べ、長寿命、小型化など多くの特長を持っている。

Characteristics of plastic-lined thrust bearing

3.2.2 新素材ガイド軸受 水車及び発電機の回転軸の半径方向荷重を支えるガイド軸受についても、新素材スラスト軸受と同じPTFE系材料を適用した新素材ガイド軸受を開発し、2002年に13MVAの立軸機から採用を開始した(図7)。

3.2.3 新素材ジャーナル軸受 横軸機のジャーナル軸受についても、前述のスラスト及びガイド軸受と同じくPTFE系材料をすべり面材料とした新素材ジャーナル軸受を開発し、1997年から実機採用を開始して、順調に運用している。この新素材ジャーナル軸受は、新素材スラスト軸受と同様な多くのメリットがある(図8)。



図7.新素材ガイド軸受 - 新素材ガイド軸受のすべり面部分を示す。
Plastic-lined guide bearing



図8.新素材ジャーナル軸受 - 新素材ジャーナル軸受は、小型化や保守の簡素化など多くのメリットを持っている。
Plastic-lined journal bearing

高面圧化による小型化と構造簡素化
・軸受損失の低減により空冷軸受の適用範囲が拡大

保守簡素化
・摩耗が少ないので長寿命
・潤滑油の汚れが少ない

4 軸受の空冷化

4.1 水車軸受の空冷化

近年、発電機スラスト軸受の冷却水レス化の適用範囲拡大に伴って、必然的に水車軸受を冷却水レス化構造として、総合的に冷却水レス化を図ることが求められている。

その方法のもっとも一般的なものは、軸受をセグメント化して発生損失の低減を図ったうえで油槽を大きくし、水車ピット内の冷気を利用した空気冷却方式（完全空冷方式）である。

なお、軸受損失が大きくこの方式が採用できない場合は、ランナ背圧水を利用する構造を採用することによって、給水装置レス化を実現できる。

4.2 発電機軸受の空冷化

発電機の軸受の冷却媒体として河川水などを使用する水冷方式に代わり、給水装置を省略し、冷却水を用いない空冷方式が適用されつつある（図9）。

空冷式軸受は、軸受損失が比較的小さい小容量・低速機への適用が主体であったが、空冷油冷却器の熱伝達の向上、軸受油槽に設けたフィンによる熱伝達の向上、適正冷却風量の確保などの開発・検討の結果、現時点では図10に示す適用範囲へと拡大を図ってきた。

今後は、前述の新素材スラスト軸受を適用することで、高面圧化、高周速化による軸受損失低減が図れ、更に高速・大容量機への適用拡大が期待できる。

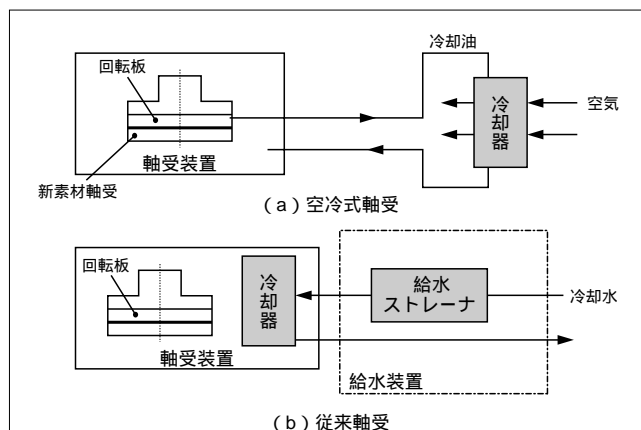
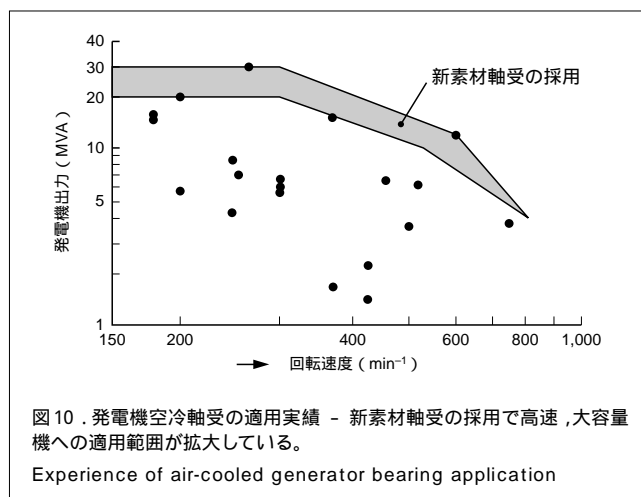


図9.発電機空冷式軸受の構成 - 空冷式軸受にすれば、従来の給水装置が省略できる。

Outline of air-cooled generator bearing



5 あとがき

今回、ここに挙げた新技術は、環境及びユーザーニーズを踏まえたものであり、機器の長寿命化、保守の軽減と費用の低減が期待できる。

文 献

- (1) 宇野修悦,ほか.水車発電機用新素材軸受の高性能化.東芝レビュー.53, 9,1998,p.41-44.
- (2) 稲垣泰三,ほか.水力発電機器改修におけるライフサイクルコンセプト.東芝レビュー.54,12,1999,p.44-48.
- (3) 安藤雅敏,ほか.ブラシ式高性能軸受シール装置の開発.電力マンスリー.590,2001,p.12-13.



中野 富二男 NAKANO Fujio

電力・社会システム社 火力・水力事業部 水力プラント技術部 主査。国内改修物件の総合エンジニアリング業務に従事。
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.